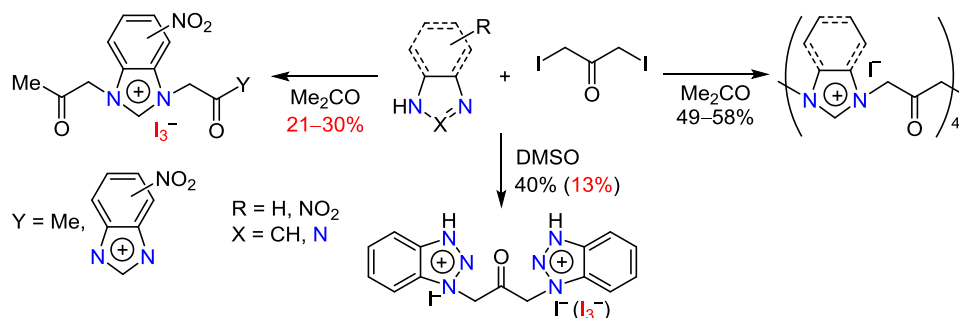


Алкилирование производных имидазола и бензотриазола 1,3-диодпропан-2-оном в отсутствие основных сред

Лариса В. Жилицкая^{1*}, Людмила Г. Шагун¹,
Иван А. Дорофеев¹, Нина О. Ярош¹

¹ Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН,
ул. Фаворского, 1, Иркутск 664033, Россия; e-mail: lara_zhilitskaya@irioch.irk.ru

Поступило 16.05.2019
Принято 5.06.2019



Взаимодействие производных имидазола и бензотриазола с 1,3-диодпропан-2-оном в отсутствие оснований и катализаторов приводит к образованию линейных и циклических солевых систем в одну препаративную стадию.

Ключевые слова: бензимидазол, бензотриазол, 1,3-диодпропан-2-он, имидазол, ионные жидкости, 5-нитробензимидазол, полииодиды, циклофаны, алкилирование.

Повышенный интерес к производным имидазола и бензотриазола обусловлен их ценными прикладными свойствами. Они входят в состав многих лекарственных средств,^{1–4} ионных жидкостей,^{5–7} катализаторов,⁸ электролитов,⁹ высокоэнергетических материалов.^{5,10} Мостиковые гетероциклические системы, образующие внутримолекулярную полость, перспективны для создания рецепторов и сенсоров,^{11–13} молекулярных контейнеров,¹⁴ ферментов¹⁵ и медицинских препаратов разнообразного спектра действия.¹⁶ В последнее десятилетие особое внимание исследователей привлекают соли азотсодержащих гетероциклических соединений, что связано с широким диапазоном их применения в различных областях науки и техники.^{2–9,11,12,17}

Наиболее известные методы получения *N*-производных азолов основаны на реакции алкилирования различными органогалогенидами в присутствии NaH или NaOH и межфазных катализаторов.¹⁸ Синтез макроциклических производных азолов, как правило, осуществляется в две препаративные стадии и включает получение соответствующего прекурсора, способного далее вступать в реакцию *N*-алкилирования

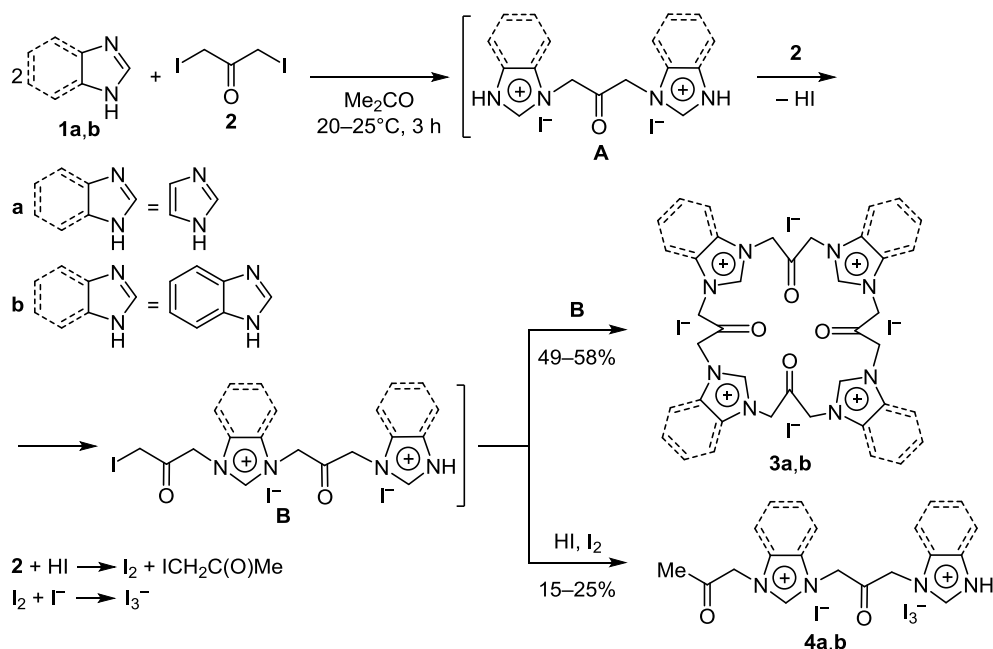
в присутствии NaH¹¹ или в реакцию кватернизации с бисгалогенпроизводными углеводов.¹²

В настоящей работе исследована возможность получения гетероциклических солей линейного и циклического строения в одну препаративную стадию.¹⁹ С этой целью изучена реакция азолов **1a–d** с 1,3-диодпропан-2-оном (**2**) в отсутствие оснований и катализаторов.

Реакция имидазола (**1a**) и бензимидазола (**1b**) с кетоном **2** протекает в мягких условиях за 3 ч, приводя к ранее неизвестным циклофанам **3a,b** и ионным жидкостям **4a,b** с диметиленкарбонильными фрагментами в одну препаративную стадию (схема 1).

Полученные экспериментальные данные дают все основания полагать, что первоначально происходит алкилирование 1,3-диодпропан-2-оном (**2**) по атому азота пиридинового типа в молекулах азолов **1a,b**. Образующийся при этом ключевой аддукт **A** далее подвергается моноалкилированию по пиррольному атому азота с образованием интермедиата **B**, который, благодаря наличию в молекуле высокорекционной иодметильной группы, легко вступает в реакцию межмолекулярного автоалкилирования, приводя к образо-

Схема 1



ванию циклических полииодидов **3a,b** с выходами 58 и 49%. Присутствие в молекуле бензимидазола (**1b**) фенольного фрагмента несколько снижает нуклеофильность атома N-3, что отражается на выходе соответствующего циклического продукта **3b**. Выделившийся *in situ* иодоводород частично восстанавливает иодметильные группы интермедиата **B**, что способствует образованию линейных полииодидов бис(2-оксопропил)-1*H*-имидазолия **4a,b** с выходами 15 и 25% соответственно. Формирование трииодид-анионов в полииодидах **4a,b** происходит благодаря наличию в реакционной среде молекулярного иода, выделившегося в процессе восстановления иодметильных групп кетона **2** и интермедиата **B**. Ациклическое строение полииодидов **4a,b** подтверждается наличием в их спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C сигналов протонов и атомов углерода терминальных метильных групп при 2.33, 2.39 и 27.2, 27.5 м. д. соответственно. Соотношение протонов метильной и метиленовых групп составляет 3:6.

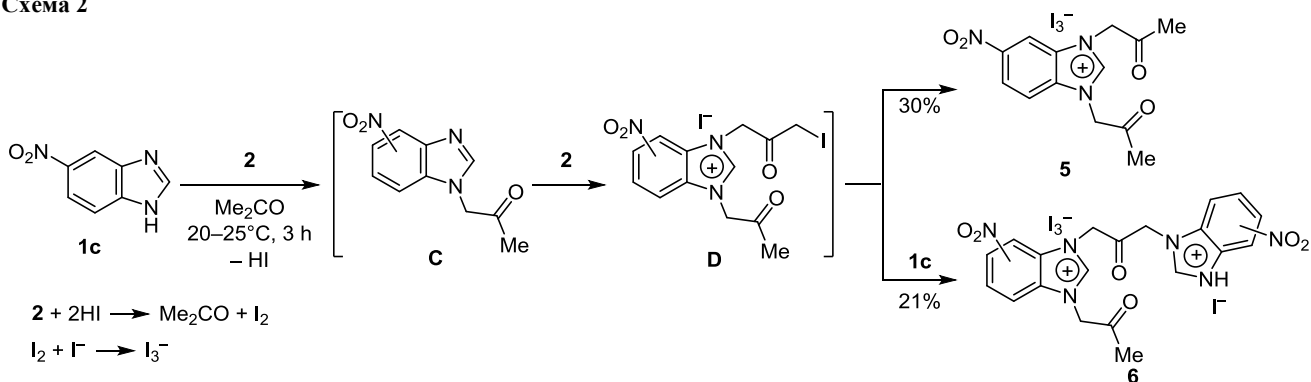
На образование циклической формы тетракаатионов диазолов **3a,b** указывает отсутствие в спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C сигналов протонов и атомов углерода концевой метильной и иодметильной групп и наличие сигнала

эквивалентных метиленовых фрагментов при 6.12, 6.41 и 55.7, 54.3 м. д. соответственно. В реакции 2-метилимидазола с 1,3-диiodпропан-2-оном (**2**) термодинамически устойчивым продуктом оказался циклический полииодид с тремя основными звеньями.²⁰

Наличие электроноакцепторной нитрогруппы в молекуле 5-нитробензимидазола (**1c**) снижает его основность в сравнении с бензимидазолом (**1b**), что создает более благоприятные условия для протекания реакции по пиррольному атому азота и последующему восстановлению иодметильной группы в продукте *N*¹-алкилирования выделившимся иодоводородом. Образовавшийся при этом интермедиат **C** вступает в реакцию кватернизации по пиридиновому атому азота, приводя к ключевому аддукту **D**, который далее участвует в конкурирующих реакциях деиодирования и алкилирования, образуя трииодид 5-нитро-1,3-бис(2-оксопропил)-1*H*-бензимидазолия (**5**) и полииодид 5(6)-нитро-1-[3-(5(6)-нитро-1*H*-бензимидазолий-1-ил)-2-оксопропил]-3-(2-оксопропил)-1*H*-бензимидазолия (**6**) с выходами 30 и 21% соответственно (схема 2).

Введение третьего атома азота в молекулу гетероцикла снижает способность основания первоначально

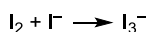
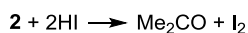
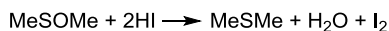
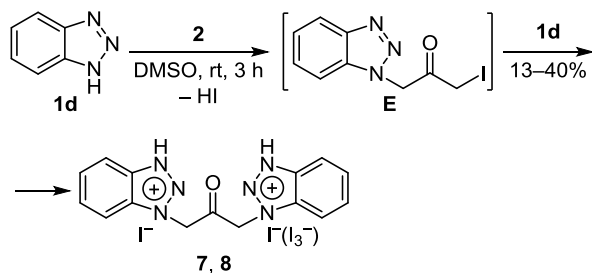
Схема 2



вступать в реакцию кватернизации. Так, при взаимодействии 1,2,3-бензотриазола (**1d**) с 1,3-диодпропан-2-оном (**2**) в Me_2CO первоначально происходит алкилирование по пиррольному атому азота. Выделившийся при этом иодоводород восстанавливает иодметильную группу интермедиата **E**, блокируя его участие в дальнейших реакциях.²¹

С целью подавления процесса деиодирования и повышения возможности образования циклических продуктов в одну препаративную стадию мы провели реакцию в среде ДМСО. Использование этого растворителя обеспечило частичное связывание выделяющегося в процессе N^1 -алкилирования иодоводорода за счет расходования его на восстановление ДМСО до диметилсульфида (наличие сигнала протона в спектре ЯМР ^1H при 2.08 м. д.),²² что способствовало сохранению иодметильной группы в интермедиате **E**. Образующийся промежуточный продукт **E** далее выступает в качестве алкилирующего агента второй молекулы бензотриазола (**1d**), приводя к диоиду 1,1'-(2-оксопропан-1,3-диил)бис(1*H*-1,2,3-бензотриазолия) **7** с выходом 40% (схема 3).

Схема 3



Одновременно с диоидом **7** было выделено незначительное количество (13%) жидкого полииодида **8**, содержащего одновременно иодид- и трииодид-анионы. Образование последнего происходит в результате реакции иодид-аниона **7** с молекулярным иодом. Циклических продуктов в этой реакции не наблюдалось, вероятно, вследствие низкой основности пиридинового атома азота биспроизводных **7** и **8**. В спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C соединений **7** и **8** присутствуют сигналы протонов и атомов углерода эквивалентных метиленовых фрагментов при 6.23, 6.28 и 54.4, 54.2 м. д. соответственно. Соотношение протонов метиленовых и фениленовых фрагментов составляет 4:8.

Синтезированные соли являются потенциально биологически активными веществами, объединяющими в себе активность иода и органической составляющей. Известно, что активный иод в соединениях в комплексе с органической частью высвобождается медленно и снижает их токсичность.^{4,23}

Совокупность данных элементного анализа, УФ спектроскопии, спектроскопии ЯМР ^1H , ^{13}C подтверж-

дает состав и строение синтезированных соединений **3a,b**, **4a,b**, **5–8**. В УФ спектрах циклофанов **3a,b**, и диоида **7** имеются максимумы поглощения в области 210–218 нм, характерные для анионов Γ , в спектрах полииодидов **4a,b**, **5**, **6**, **8** наблюдаются полосы поглощения в области 291–293 и 361–362 нм, характерные для аниона I_3^- .²⁴

Таким образом, для получения циклических молекулярных систем в одну препаративную стадию в отсутствие основных сред и катализаторов в реакцию алкилирования бис(иодметил)производными необходимо вовлекать азолы, способные вступать в реакцию кватернизации на первой стадии реакции. Увеличение числа атомов азота в гетероцикле или наличие электроноакцепторного заместителя изменяет направление реакции и способствует образованию линейных солевых систем.

Экспериментальная часть

УФ спектры записаны на спектрометре UV-Vis Lambda 35 для растворов в MeCN, концентрация 10^{-4} М (соединения **3a,b** и **7**) или 10^{-3} М (соединения **4a,b**, **5**, **6**, **8**). Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C зарегистрированы на спектрометре Bruker DPX-400 (400 и 101 МГц соответственно) в $\text{DMSO}-d_6$ (соединения **3a,b** и **7**) или $\text{Me}_2\text{CO}-d_6$ (соединения **4a,b**, **5**, **6**, **8**) при 298 К, внутренний стандарт ТМС. Масс-спектры соединений **3a,b** зарегистрированы на приборе Ultraflex extreme III TOF/TOF (Bruker Daltonics GmbH, Германия), оборудованном азотным лазером (длина волны 337 нм) и мишенью NALDITM, в режиме рефлектрона, растворитель ДМСО, программное обеспечение FlexControl 3.3. Анализ спектров – с помощью программного обеспечения FlexAnalysis (Bruker Daltonics, Германия). Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Содержание иода определено меркурометрическим методом объемного анализа. Температуры плавления определены на приборе Micro-Hot-Stage PolyTherm A. Контроль за ходом реакций и чистотой полученных соединений осуществлен по спектрам ЯМР ^1H , ^{13}C и методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент $\text{Me}_2\text{CO}-\text{CHCl}_3$, 10:1, визуализация хроматограмм в парах I_2).

1,3-Диодпропан-2-он (**2**) получен по известной методике.²⁵

Получение соединений 3a,b, 4a,b и 5–8 реакцией азолов 1a–d с 1,3-диодпропан-2-оном (2) (общая методика). К раствору 2 ммоль производного имидазола **1a–c** в 3 мл Me_2CO при перемешивании прикапывают раствор 2 ммоль 1,3-диодпропан-2-она (**2**) в 2 мл Me_2CO . Реакционную смесь выдерживают в течение 3 ч при комнатной температуре. Выпавший осадок соединения **3a,b** отфильтровывают, промывают Me_2CO , Et_2O и высушивают при пониженном давлении. Ацетоновый фильтрат, пропущенный через воронку Шотта (25 × 80 мм), заполненную силикагелем MN Kieselgel 60 (0.063–0.2 мм), упаривают до 10 мл и добавляют 50 мл Et_2O . Образовавшееся густое масло **4a,b** отделяют, трижды осаждают смесь $\text{Me}_2\text{CO}-\text{Et}_2\text{O}$, 1:5, промывают Et_2O ,

высушивают при пониженном давлении. Смесь солей **5** и **6** осаждают из реакционной смеси добавлением Et₂O и разделяют дробным переосаждением из Et₂O–MeCN, 4:1.

Тетраиодид 3,7,11,15-тетраоксо-1(1,3),5,9,13(3,1)-тетраимидазолациклогексадекафантетраия (3а) синтезирован из 0.14 г имидазола (**1а**) и 0.62 г кетона **2**. Выход 0.29 г (58%), светло-коричневый порошок, т. пл. 136–138 °С. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 213 (4.10). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 6.12 (16H, с, 8CH₂); 8.17 (8H, с, Н-4,5 имидазол); 9.49 (4H, с, Н-2 имидазол). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 55.7 (CH₂); 119.8 (С-4,5 имидазол); 138.0 (С-2 имидазол); 194.2 (С=O). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 873 [M–I]⁺ (13), 549 [M–I–2HI–C₃H₄N₂]⁺ (100). Найдено, %: С 28.75; Н 2.94; I 50.66; N 11.18. C₂₄H₂₈I₄N₈O₄. Вычислено, %: С 28.82; Н 2.82; I 50.75; N 11.20.

Тетраиодид 3,7,11,15-тетраоксо-1(1,3),5,9,13(3,1)-тетрабензимидазолациклогексадекафантетраия (3b) синтезирован из 0.24 г бензимидазола (**1b**) и 0.62 г кетона **2**. Выход 0.29 г (49%), светло-коричневый порошок, т. пл. 194–196 °С. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 218 (4.26). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 6.41 (16H, с, 8CH₂); 7.83–8.36 (16H, м, Н-4,5,6,7 Ar); 9.94 (4H, с, Н-2 Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 54.3 (CH₂); 114.5, 127.2, 131.5 (С Ar); 144.0 (С-2 Ar); 194.8 (С=O). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 689 [M–3HI–I]⁺ (38), 571 [M–3HI–I–C₇H₆N₂]⁺ (100). Найдено, %: С 40.34; Н 3.11; I 42.36; N 9.18. C₄₀H₃₆I₄N₈O₄. Вычислено, %: С 40.02; Н 3.02; I 42.29; N 9.33.

Полииодид 1-[3-(1H-имидазолийил)-2-оксопропил]-3-(2-оксопропил)-1H-имидазолия (4а) синтезирован из 0.14 г имидазола (**1а**) и 0.62 г кетона **2**. Выход 0.11 г (15%), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 217 (4.18), 292 (3.61), 362 (3.33). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 2.33 (3H, с, CH₃); 5.61 (2H, с, CH₂); 5.98 (4H, с, 2CH₂); 7.66–7.77 (4H, м, Н-4,4',5,5' имидазол); 9.06 (2H, с, Н-2,2' имидазол). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 27.2 (CH₃); 55.7, 58.9 (CH₂); 120.5, 124.0, 124.2, 125.3, 137.4, 138.0 (С имидазол); 194.3, 199.3 (С=O). Найдено, %: С 18.82; Н 2.17; I 66.95; N 7.36. C₁₂H₁₆I₄N₄O₂. Вычислено, %: С 19.06; Н 2.13; I 67.15; N 7.41.

Полииодид 1-[3-(1H-бензимидазолийил)-2-оксопропил]-3-(2-оксопропил)-1H-бензимидазолия (4b) синтезирован из 0.24 г бензимидазола (**1b**) и 0.62 г кетона **2**. Выход 0.21 г (25%), темно-коричневый порошок, т. пл. 75–78 °С. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 210 (4.16), 292 (3.61), 361 (3.38). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 2.39 (3H, с, CH₃); 5.88 (4H, с, 2CH₂); 6.42 (2H, с, CH₂); 7.71–8.09 (8H, м, Н-4,4',5,5',6,6',7,7' Ar); 9.59 (2H, с, Н-2,2' Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 27.5 (CH₃); 54.7, 56.4 (CH₂); 114.4, 127.4, 128.0, 132.1 (С Ar); 144.1 (С-2 Ar); 194.9, 199.0 (С=O). Найдено, %: С 28.02; Н 2.14; I 59.42; N 6.34. C₂₀H₂₀I₄N₄O₂. Вычислено, %: С 28.06; Н 2.36; I 59.30; N 6.55.

Трииодид 5-нитро-1,3-бис(2-оксопропил)-1H-бензимидазолия (5) синтезирован из 0.33 г 5-нитробензимидазола (**1с**) и 0.62 г кетона **2**. Выход 0.39 г (30%), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 291 (3.66), 360 (3.33). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 2.34 (6H, с, 2CH₃); 5.49 (2H, с, CH₂); 5.57 (2H, с, CH₂); 7.95 (1H, м, Н-7); 8.29 (1H, м, Н-6); 8.78 (1H, с, Н-4); 9.67 (1H, с, Н-2).

Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 26.3 (CH₃); 53.5 (CH₂); 55.3 (CH₂); 111.1, 114.6, 119.2, 130.3, 134.0, 143.1, 143.6 (С Ar); 198.7, 200.3 (С=O). Найдено, %: С 23.57; Н 2.00; I 58.18; N 6.28. C₁₃H₁₄I₃N₃O₄. Вычислено, %: С 23.77; Н 2.14; I 57.95; N 6.40.

Полииодид 5(6)-нитро-1-[3-(5(6)-нитро-1H-бензимидазолий-1-ил)-2-оксопропил]-3-(2-оксопропил)-1H-бензимидазолия (6) синтезирован из 0.33 г 5-нитробензимидазола (**1с**) и 0.62 г кетона **2**. Выход 0.2 г (21%), коричневый порошок, т. пл. 172–174 °С. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 213 (4.16), 293 (3.66), 361 (3.34). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 2.36 (3H, с, CH₃); 5.81 (2H, с, CH₂); 5.93 (2H, с, CH₂); 6.12 (2H, с, CH₂); 7.87–8.14 (4H, м, Н-6,7,6',7'(4,5,4',5')); 8.57 (2H, м, Н-4,4'(7,7')); 9.75 (1H, с, Н-2); 9.82 (1H, с, Н-2). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 26.4 (CH₃); 51.1, 53.3, 55.4 (CH₂); 110.6, 111.1, 114.5, 114.7, 117.4, 117.8, 132.8, 134.0, 142.4, 142.8, 145.3, 147.2 (С Ar); 194.9, 198.7 (С=O). Найдено, %: С 25.15; Н 1.74; I 54.07; N 8.75. C₂₀H₁₈I₄N₆O₆. Вычислено, %: С 25.39; Н 1.92; I 53.66; N 8.88.

Синтез иодидов 1,1'-(2-оксопропан-1,3-диил)бис(1H-1,2,3-бензотриазолия) 7 и 8. К раствору 0.24 г (2 ммоль) бензотриазола (**1d**) в 2 мл ДМСО при перемешивании прикапывают раствор 0.62 г (2 ммоль) 1,3-дииодпропан-2-она (**2**) в 1 мл ДМСО. Реакционную смесь выдерживают в течение 3 ч при комнатной температуре и добавляют 50 мл Et₂O. К выпавшему осадку солей **7** и **8** добавляют 10 мл Me₂CO. Нерастворившийся осадок дииодида **7** отфильтровывают. К ацетонному фильтрату, пропущенному через воронку Шотта (25 × 80 мм), заполненную силикагелем MN Kieselgel 60 (0.063–0.2 мм), добавляют 30 мл Et₂O. Выпавшее красное масло **8** отделяют, промывают Et₂O, высушивают при пониженном давлении.

Дииодид 1,1'-(2-оксопропан-1,3-диил)бис(1H-1,2,3-бензотриазолия) (7). Выход 0.21 г (40% в пересчете на бензотриазол (**1d**)), светлый порошок, т. пл. 118–120 °С. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 218 (4.20). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 6.23 (4H, с, 2CH₂); 7.41 (2H, д, д, *J* = 8.0, *J* = 7.8, Н-5); 7.57 (2H, д, д, *J* = 8.2, *J* = 7.8, Н-6); 7.82 (2H, д, *J* = 8.2, Н-7); 8.05 (2H, д, *J* = 8.0, Н-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 54.4 (CH₂); 110.9, 119.3, 124.2, 127.7, 133.8, 145.2 (С Ar); 196.9 (С=O). Найдено, %: С 32.73; Н 2.43; I 46.55; N 15.47. C₁₅H₁₄I₂N₆O. Вычислено, %: С 32.86; Н 2.57; I 46.31; N 15.33.

Полииодид 1,1'-(2-оксопропан-1,3-диил)бис(1H-1,2,3-бензотриазолия) (8). Выход 0.08 г (13% в пересчете на бензотриазол (**1d**)), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max}, нм (lg ε): 216 (4.18), 293 (3.66), 361 (3.38). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 6.28 (4H, с, 2CH₂); 7.37 (2H, д, д, *J* = 7.8, *J* = 7.7, Н-5); 7.63 (2H, д, д, *J* = 8.0, *J* = 7.5, Н-6); 7.84 (2H, д, *J* = 8.0, Н-7); 8.08 (2H, д, *J* = 7.8, Н-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 54.2 (CH₂); 110.8, 119.3, 124.2, 127.6, 133.8, 145.2 (С Ar); 196.9 (С=O). Найдено, %: С 22.63; Н 1.59; I 63.55; N 10.46. C₁₅H₁₄I₄N₆O. Вычислено, %: С 22.46; Н 1.76; I 63.30; N 10.48.

Основные результаты получены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

1. (a) Nikitina, P. A.; Perevalov, V. P. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 123. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 123.] (b) Petko, K. I.; Sokolenko, T. M.; Filatov, A. A.; Polovinko, V. V.; Rusanov, E. B.; Dudko, V. A.; Yagupolskii, Yu. L. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2019**, 55, 359. [Химия гетероцикл. соединений **2019**, 55, 359.]
2. Iqbal, M. A.; Haque, R. A.; Ahamed, M. B. K.; Majid, A. M. S.; Al-Rawi, S. S. *Med. Chem. Res.* **2013**, 22, 2455.
3. Lal, A. K.; Milton, M. D. *Tetrahedron Lett.* **2014**, 55, 1810.
4. (a) Аверин, К. М.; Солодунов, Ю. Ю.; Страдомский, Б. В. Патент ЕА 013691. (b) Страдомский, Б. В.; Солодунов, Ю. Ю. *Экспериментальная и клиническая фармакология мазевых форм Стеллана (1,3-диэтилбензимидазолия трийодида)*; ЮНЦ РАН: Ростов-на-Дону, 2013.
5. (a) Sivaev, I. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 638. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 638.] (b) Zhang, Y.; Gao, H.; Joo, Y.-H.; Shreeve, J. M. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2011**, 50, 9554.
6. Jiang, T.; Ma, X.; Zhou, Y.; Liang, S.; Zhang, J.; Han, B. *Green Chem.* **2008**, 10, 465.
7. Headley, A. D.; Ni, B. *Aldrichimica Acta* **2007**, 40, 107. (b) Ishida, Y.; Sasaki, D.; Miyauchi, H.; Saigo, K. *Tetrahedron Lett.* **2006**, 47, 7973.
8. Iwamoto, K.; Kimura, H.; Oike, M.; Sato, M. *Org. Biomol. Chem.* **2008**, 6, 912.
9. Lee, J. P.; Yoo, B.; Suresh, T.; Kang, M. S.; Vital, R.; Kim, K. J. *Electrochim. Acta* **2009**, 54, 4365.
10. (a) Luo, J.; Yu-Cun, L.; Yan, L.; Chai, T. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 693. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 693.] (b) Lewczuk, R.; Szala, M.; Rećko, J.; Klapötke, T. M.; Cudziło, S. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 697. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 697.]
11. You, J.-S.; Yu, X.-Q.; Zhang, G.-L.; Xiang, Q.-X.; Lan, J.-B.; Xie, R.-G. *Chem. Commun.* **2001**, 1816.
12. (a) Rajakumar, P.; Dhanasekaran, M. *Tetrahedron* **2002**, 58, 1355. (b) Yuan, Y.; Gao, G.; Jiang, Z.-L.; You, J.-S.; Zhou, Z.-Y.; Yuana, D.-Q.; Xie, R.-G. *Tetrahedron* **2002**, 58, 8993.
13. Vickers, M. S.; Beer, P. D. *Chem. Soc. Rev.* **2007**, 36, 211. (b) Yoon, J.; Kim, S. K.; Singh, N. J.; Kim, K. S. *Chem. Soc. Rev.* **2006**, 35, 355. (c) Alcalde, E.; Alvarez-Rúa, C.; García-Granda, S.; García-Rodríguez, E.; Mesquida, N.; Pérez-García, L. J. *Chem. Soc., Chem. Commun.* **1999**, 295.
14. Kulikov, D. V.; Karasik, A. A.; Balueva, A. S.; Kataeva, O. N.; Livinov, I. A.; Hey-Hawkins, E.; Sinyashin, O. G. *Mendeleev Commun.* **2007**, 17, 195.
15. Murakami, Y.; Kikuchi, J.; Hisaeda, Y.; Hayashida, O. *Chem. Rev.* **1996**, 96, 721.
16. Ishmuratov, G. Y.; Yakovleva, M. P.; Mingaleeva, G. R.; Tolstikov, A. G. *Macrocyclics* **2011**, 4, 270.
17. (a) Yiğit, B.; Gök, Y.; Özdemir, I.; Günal, S. *J. Coord. Chem.* **2012**, 65, 371. (b) Melaiye, A.; Sun, Z.; Hindi, K.; Milsted, A.; Ely, D.; Reneker, D. H.; Tessier, C. A.; Youngs, W. J. *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, 127, 2285. (c) Zeng, W.; IJiang, J. *Crystals* **2017**, 7, 303.
18. (a) Meyer, D.; Strassner, T. *J. Org. Chem.* **2011**, 76, 305. (b) Katritzky, A. R.; Kuzmerkiewicz, W.; Greenhill, J. V. *Recl. Trav. Chim. Pays-Bas* **1991**, 110, 369. (c) Abdel-Megid, M.; Elnagdi, M. H.; Negm, A. M. *J. Heterocycl. Chem.* **2002**, 39, 105. (d) Hay, M. P.; Wilson, W. R.; Denny, W. A. *Tetrahedron* **2000**, 56, 645. (e) Khabnadideh, S.; Rezaei, Z.; Khalafi-Nezhad, A.; Bahrinajafi, R.; Mohamadi, R.; Farrokhrooz, A. A. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2003**, 13, 2863.
19. (a) Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O.; Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Larina, L. I. *Mendeleev Commun.* **2017**, 27, 352. (b) Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O.; Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Larina, L. I. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2015**, 51, 381. [Химия гетероцикл. соединений **2015**, 51, 381.]
20. Yarosh, N. O.; Zhilitskaya, L. V.; Dorofeev, I. A.; Klyba, L. V.; Shagun, L. G.; Voronkov, M. G. *Russ. J. Org. Chem.* **2013**, 49, 1546. [Журн. орган. химии **2013**, 49, 1567.]
21. Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Tokareva, I. A.; Larina, L. I.; Voronkov, M. G. *Russ. J. Org. Chem.* **2012**, 48, 1561. [Журн. орган. химии **2012**, 48, 1590.]
22. (a) Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O.; Larina, L. I. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 920. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 920.] (b) Voronkov, M. G.; Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O.; Larina, L. I. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2013**, 62, 2554. [Изв. АН, Сер. хим. **2013**, 2554.]
23. (a) Страдомский, Б. В. Патент РФ 2237469; *Бюл. изобрет.* **2004**, 28. (b) Кательницкий, И. И.; Трандофилов, А. М.; Страдомский, Б. В.; Лыкова, Е. О. *Флебология* **2009**, 1, 30.
24. Reiller, P.; Mercier-Bion, F.; Gimenez, N.; Barré, N.; Miserque, F. *Radiochim. Acta* **2006**, 94, 739.
25. Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Klyba, L. V.; Tokareva, I. A.; Voronkov, M. G. *Russ. J. Org. Chem.* **2008**, 44, 1549. [Журн. орган. химии **2008**, 44, 1570.]